



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

PŘEDPJATÁ MOSTNÍ DESKA PŘES MÍSTNÍ POTOK

PRESTRESSED SLAB BRIDGE OVER THE LOCAL STREAM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Rebroš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Koláček, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Student: **Martin Rebroš**
Vedoucí práce: **Ing. Jan Kolářek, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Předpjatá mostní deska přes místní potok

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je pro zadaný problém navrhnout dvě až tři studie řešení mostu o jednom poli a zhodnotit je. Pro vybranou variantu mostní konstrukce bude vypracován podrobný statický výpočet nosné konstrukce a bude vypracována odpovídající výkresová dokumentace včetně vizualizace celé konstrukce.

Bakalářskou práci je třeba vypracovat a rozčlenit podle následující struktury:

Textová část

Přílohy textové části:

P1 Podklady, studie a vizualizace

P2 Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3 Statický výpočet

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Návrh mostu a studií přemostění zpracujte na základě předaných podkladů (situace, podélný řez, příp. geotechnické poměry).

Textová část bude obsahovat popis studií přemostění včetně jejich zhodnocení, podrobný technický popis vybrané varianty a popis veškerých kroků a posudků ve statickém výpočtu, a závěr.

Výkresová dokumentace bude obsahovat dispoziční výkresy (půdorys, podélný řez, příčné řezy, atd.) a výkresy výtzuže vybraných částí konstrukce.

Statický výpočet bude vypracován dle norem EN (mezní stavy) v rozsahu určeném vedoucím práce.

Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím bakalářské práce.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2022

L. S.

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Jan Koláček, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je návrh a posúdenie doskovej konštrukcie mostu z predpätého betónu o jednom poli. Posudky sú prevedené z hľadiska medzného stavu použiteľnosti aj medzného stavu únosnosti. Most prevádza komunikáciu prvej triedy I/57 kategórie S 9,5/70 medzi obcami Fulnek a Hladké Životice, pričom premostovanou prekážkou je Kostelecký potok. Boli vypracované dva varianty premostenia, pre podrobné spracovanie a posúdenie na oba medzné stavy bol vybraný variant predpätého doskového mostu lichobežníkového prierezu. Pre výpočet vnútorných síl od zaťaženia bol použitý program SCIA Engineer. Výsledky boli kontrolované a porovnávané ručným výpočtom metódou spolupôsobiacej šírky na prútovom modeli. Výkresová dokumentácia bola vypracovaná v programe AutoCAD a vizualizácia v programoch Rhino 7 a Lumion.

KLÍČOVÁ SLOVA

most, predpätý betón, doskový most, medzný stav použiteľnosti, medzný stav únosnosti, zmeny predpätia

ABSTRACT

The subject of the bachelor's thesis is the design and assessment of a slab structure of a single-span prestressed concrete bridge. The assessments are carried out from the point of view of the limit state of usability and the limit state of serviceability. The bridge carries first class communication I/57 of the category S 9,5/70 between villages Fulnek and Hladké Životice, while the bridge obstacle is the Kostelecký potok. Two variants of bridging were developed, for detailed processing and assessment for both limit states the variant of the prestressed plate bridge with trapezoidal cross-section was selected. The SCIA Engineer software was used to calculate the internal forces from the load. The results were checked and compared by manual calculation using the method of interacting width on a rod model. The drawing documentation was developed in the AutoCAD software and visualization in the Rhino 7 and Lumion.

KEYWORDS

bridge, prestressed concrete, slab bridge, serviceability limit state, ultimate limit state, changes in prestressing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

REBROŠ, Martin. *Předpjatá mostní deska přes místní potok*. Brno, 2023, 32 s., 114 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Jan Kolářek, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chcel by som sa poďakovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Janu Koláčkovi, Ph.D. za jeho pomoc a rady, ktoré mi dával počas vypracovania tejto práce. Tiež aj za jeho ochotu a trpezlivosť. Rovnako sa chcem poďakovať aj mojej rodine, ktorá ma neustále podporovala počas celého doterajšieho štúdia. Obrovské ďakujem patrí aj mojim kolegom a kamarátom.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prehlasujem, že elektronická forma odovzdanej bakalárskej práce s názvom *Předpjatá mostní deska přes místní potok* sa zhoduje s jej listinnou podobou.

V Brne dňa 12. 5. 2023

Martin Rebroš
autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu s názvom *Předpjatá mostní deska přes místní potok* spracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 12. 5. 2023

Martin Rebroš
autor

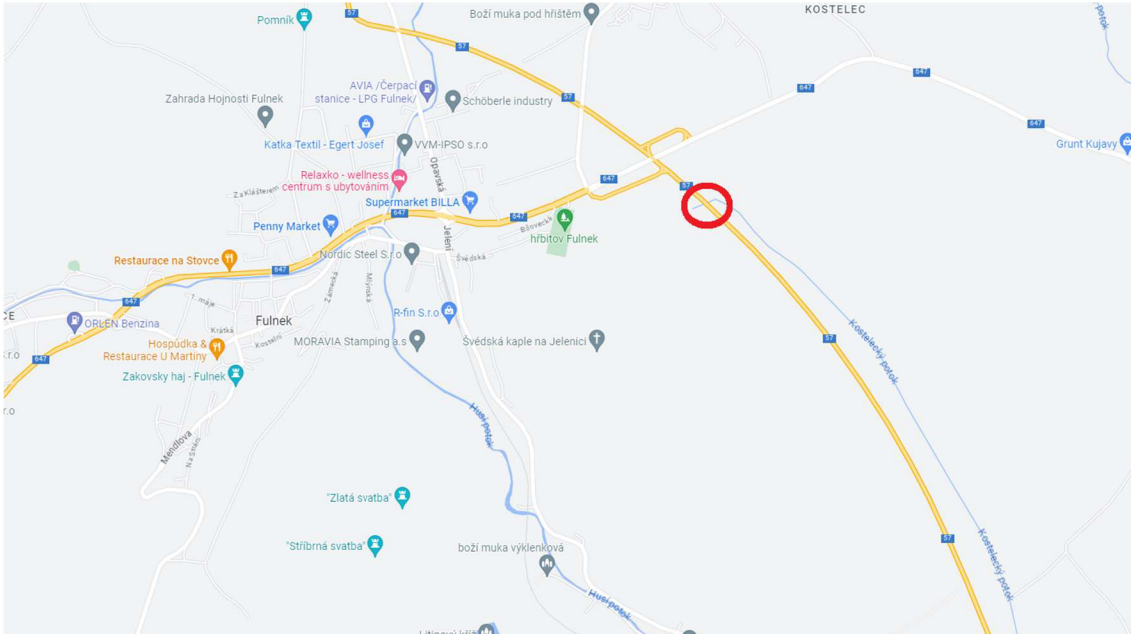
OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	VARIANTY	10
2.1	VARIANT A	11
2.2	VARIANT B	11
2.3	VOĽBA VARIANTU	12
3	ZÁKLADNÉ PARAMETRE MOSTU	12
4	STAVEBNÉ A TECHNICKÉ RIEŠENIE MOSTU	13
4.1	ZÁKLADY A SPODNÁ STAVBA	13
4.2	NOSNÁ KONŠTRUKCIA.....	13
4.3	LOŽISKÁ	14
4.4	MOSTNÉ ZÁVERY	15
4.5	RÍMSY	15
4.6	VOZOVKA.....	15
4.7	ZÁCHYTNÝ SYSTÉM.....	15
4.8	ODVODNENIE	16
4.9	REVÍZNE CHODISKO.....	16
5	STATICKÝ VÝPOČET.....	16
5.1	VLASTNÁ TIAŽ.....	16
5.2	OSTATNÉ STÁLE ZAŤAŽENIE	16
5.3	PREMENNÉ ZAŤAŽENIE.....	17
5.4	KOMBINÁCIE.....	18
6	PREDPÄTIE.....	19
6.1	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	19
6.2	NÁVRH PREDPÄTIA.....	20
6.3	ČASOVÁ OS.....	20
6.4	STRATY PREDPÄTIA.....	20
7	MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI.....	21
8	MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI.....	23
8.1	OHYB.....	23
8.2	ŠMYK.....	24
9	PREPICHNUTIE.....	25
10	KOTEVNÁ OBLASŤ.....	25
11	POSTUP VÝSTAVBY	26
12	ZÁVER	26
13	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	28
14	ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	31

15	ZOZNAM PRÍLOH	32
----	---------------------	----

1 ÚVOD

Cieľom bakalárskej práce je návrh a posúdenie konštrukcie z hľadiska medzného stavu použiteľnosti aj medzného stavu únosnosti. Jedná sa o doskovú konštrukciu mostu z predpätého betónu o jednom poli. Most prevádza komunikáciu prvej triedy I/57 kategórie S 9,5/70 medzi obcami Fulnek a Hladké Životice. Premosťovanou prekážkou je Kostelecký potok. Pre zjednodušenie práce bude terén, výška hladiny potoka zvolené.



Obr. 1: Umiestnenie mostu.

Boli vypracované dva varianty premostenia. Boli zohľadnené výhody a nevýhody oboch variantov a na ich základe bol vybraný jeden variant, pre ktorý bol vypracovaný návrh a jeho posúdenie z hľadiska oboch medzných stavov. Oba varianty ako aj ich výhody a nevýhody sú bližšie popísané v ďalšej kapitole.

V práci sú uvažované iba zvislé účinky zaťaženia. Účinky od teploty, klimatického a vodorovného zaťaženia uvažované neboli.

Pre výpočet vnútorných síl od zaťaženia bol použitý program SCIA Engineer. Výsledky boli kontrolované a porovnávané ručným výpočtom metódou spolupôsobiacej šírky na prútovom modeli. Výkresová dokumentácia bola vypracovaná v programe AutoCAD a vizualizácia v programoch Rhino 7 a Lumion.

Statický výpočet bol realizovaný podľa platných európskych noriem.

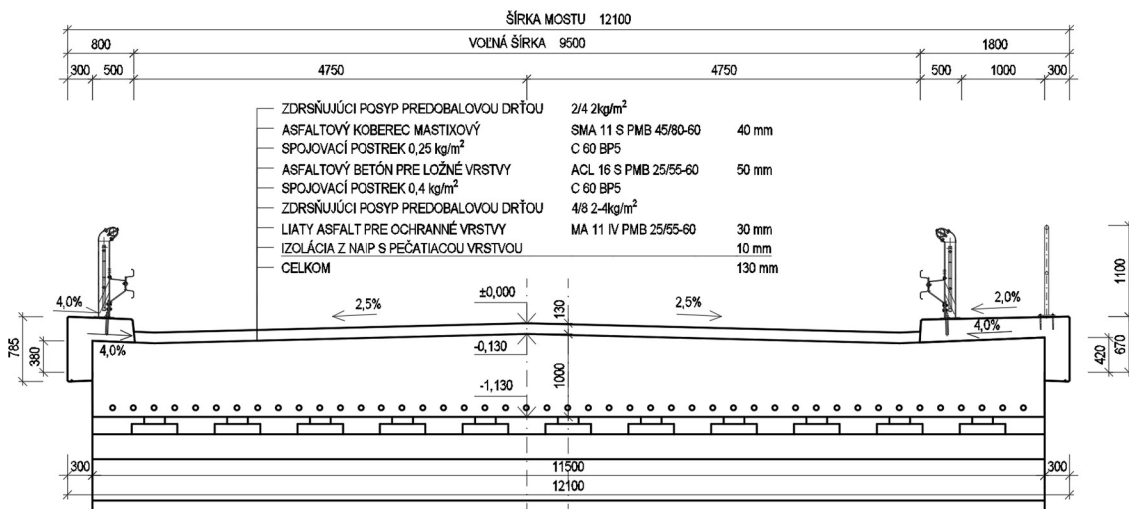
2 VARIANTY

Boli navrhnuté dva varianty premostenia. Oba varianty boli navrhnuté ako predpäté doskové konštrukcie o jednom poli, líšia sa hlavne v tvare priečného rezu. Variant A predstavuje obdĺžnikový tvar, variant B lichobežníkový tvar priečného rezu. Pre ďalšie podrobné spracovanie bo vybraný variant B. Rozpätie, pre ktoré bol návrh spracovaný má dĺžku 22,00 m.

2.1 VARIANT A

Jedná sa o doskový predpätý most obdĺžnikového prierezu o jednom poli. Maximálna výška dosahuje 1,00 m. Celková šírka mostu je 12,10 m, šírka nosnej konštrukcie je 11,50 m. Priechý sklon je strechovitý o hodnote 2,5 %, pozdĺžny sklon nivelety je 2 %, pričom klesá po smere staničenia. Na pravej strane sa na rímse s priečnym sklonom 2,0 % o šírke 1,8 m nachádza chodník s priechodovou šírkou 1,0 m, na ľavej strane je rímsa s priečnym sklonom 4,0 % o šírke 0,8 m. Na oboch rímсах na nachádzajú zábradlové zvodidlá a rímsa s chodníkom je ešte vybavená oceľovým zábradlím so zvislou výplňou o výške 1,1 m. Konštrukcia je uložená na dvoch operách na elastických ložiskách. Predpínacie káble sú umiestnené po celej šírke hlavnej nosnej konštrukcie.

Výhodou je vyššia dosková tuhosť. Nevýhodou je väčšia spotreba materiálu a teda vyššia cena, menšia estetickosť.

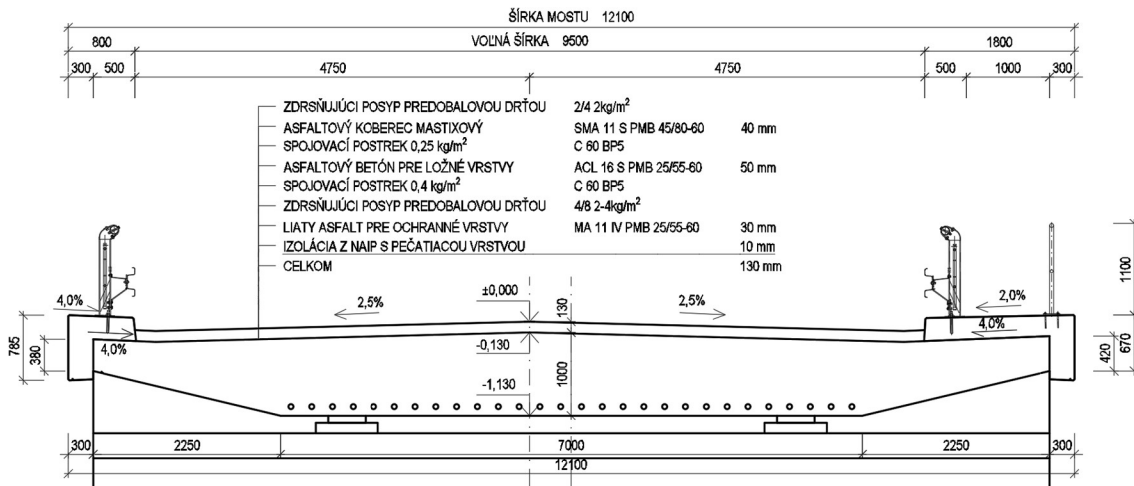


Obr. 2: Priechý rez variantu A hlavnou nosnou konštrukciou.

2.2 VARIANT B

Druhým variantom je predpätý doskový most o jednom poli lichobežníkového prierezu. Výška v najvyššom bode činí 1,00 m. Celková šírka mostu je 12,10 m, šírka nosnej konštrukcie je 11,50 m. Priechý sklon je strechovitý o hodnote 2,5 %, pozdĺžny sklon nivelety je 2 %, pričom klesá po smere staničenia. Na pravej strane sa na rímse s priečnym sklonom 2,0 % o šírke 1,8 m nachádza chodník s priechodovou šírkou 1,0 m, na ľavej strane je rímsa s priečnym sklonom 4,0 % o šírke 0,8 m. Na oboch rímсах na nachádzajú zábradlové zvodidlá a rímsa s chodníkom je ešte vybavená oceľovým zábradlím so zvislou výplňou o výške 1,1 m. V mieste nivelety je hrúbka hlavnej nosnej konštrukcie 1,0 m, vozovka v súčte všetkých vrstiev činí 130 mm. Konštrukcia je uložená na elastických ložiskách. Predpínacie káble sú umiestnené v hrubšej časti hlavnej nosnej konštrukcie mimo nábehov. Nábehy budú vystužené betonárskou výstužou.

Výhodami variantu je úspora betónu a teda je ekonomicky výhodnejší, väčšia estetickosť konštrukcie, pretože nepôsobí tak masívne ako variant A.



Obr. 3: Priečný rez variantu B hlavnou nosnou konštrukciou.

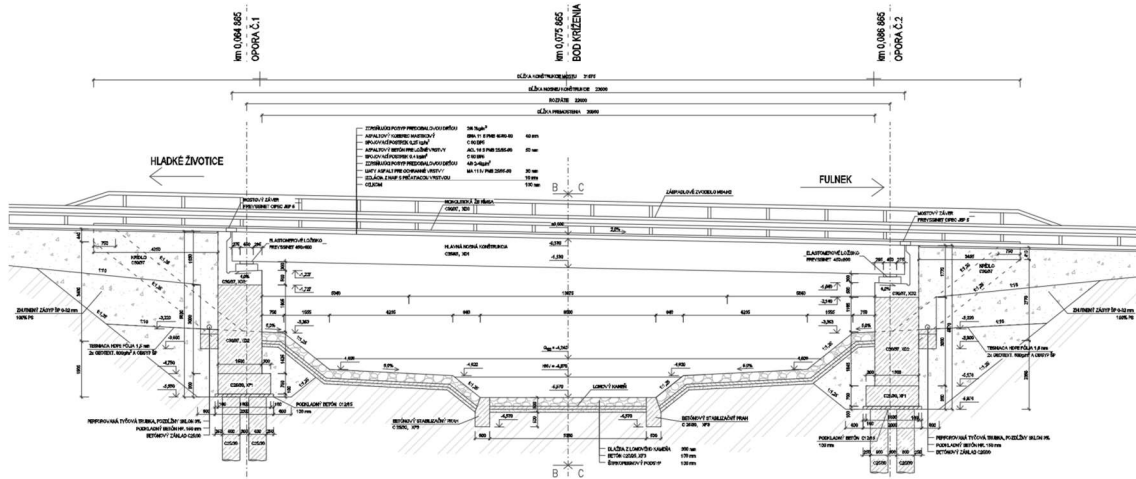
2.3 VOĽBA VARIANTU

Na základe uvedených výhod sme sa po dohode s vedúcim práce dohodli, že podrobne spracovaný bude variant B.

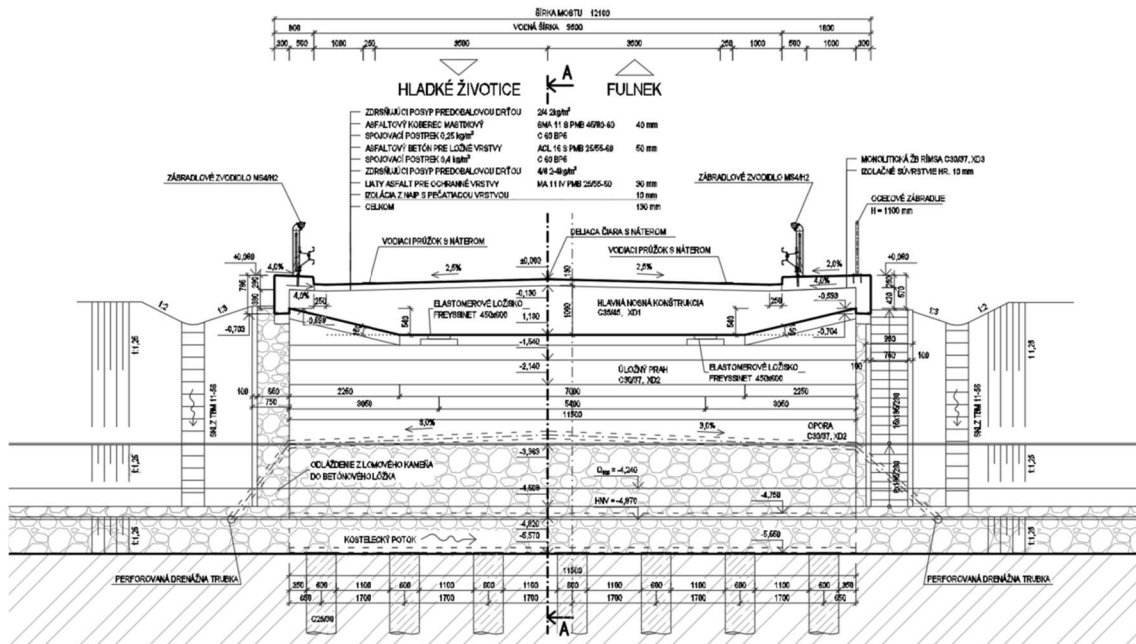
3 ZÁKLADNÉ PARAMETRE MOSTU

Dĺžka mostu:	31,675 m
Dĺžka nosnej konštrukcie:	23,000 m
Dĺžka premostenia:	20,960 m
Dĺžka rozpätia:	22,000 m
Počet polí:	1
Šírka mostu:	12,100 m
Šírka nosnej konštrukcie:	11,500 m
Voľná šírka mostu:	9,500 m
Šírka pravej rímsy:	1,800 m
Šírka ľavej rímsy:	0,800 m
Priečný sklon:	2,5 %
Pozdĺžny sklon:	2,0 %
Uhol kríženia:	90°
Uhol premostenia:	90°
Vzdialenosť medzi ložiskami:	5,400 m
Stavebná výška:	1,130 m
Voľná výška pod mostom:	4,440 m

Obr. 4: Pôdorys



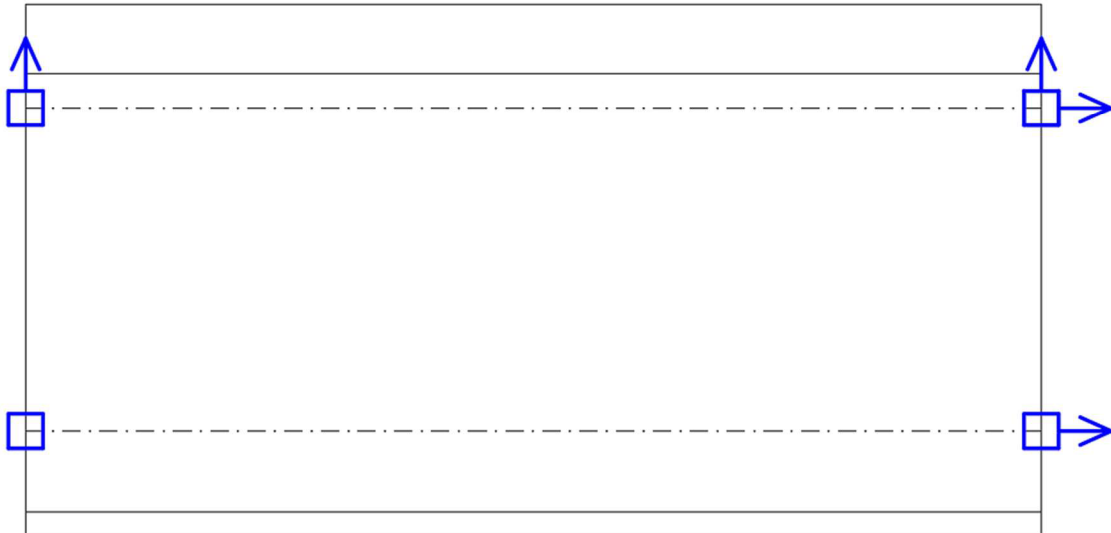
Obr. 5: Pozdĺžny rez



Obr. 6: Priečny rez

4.3 LOŽISKÁ

Nosná konštrukcia je uložená na štyroch elastomerových ložiskách Freyssinet 450x600 mm s prípustným zaťažením 6309 kN, celkovou hrúbkou 73 mm pri štyroch vrstvách. Umiestnenie ložísk v závislosti na ich možnosti pohybu je podľa schémy:



Obr. 7: Schéma umožnených pohybů ložísk.

4.4 MOSTNÉ ZÁVERY

Na oboch koncoch sú použité mostné závery Freyssinet Cipec JEP 5.

4.5 RÍMSY

Rímsy sú z betónu triedy C30/37-XD3. Na pravej strane sa na rímse s priečnym sklonom 2,0 % o šírke 1,8 m nachádza chodník s priechodovou šírkou 1,0 m, na ľavej strane je rímša s priečnym sklonom 4,0 % o šírke 0,8 m. Spodná hrana oboch ríms je v priečnom sklone 4,0 %.

4.6 VOZOVKA

Navrhnutá vozovka a jej skladba:

- Zdrsňujúci posyp predobalovou drťou	2/4 2 kg/m ²	
- Asfaltový koberec mastixový	SMA 11 S PMB 45/80-60	40 mm
- Spojovací postrek 0,25 kg/m ²	C 60 BP5	
- Asfaltový betón pre ložné vrstvy	ACL 16 S PMB 25/55-60	50 mm
- Spojovací postrek 0,4 kg/m ²	C 60 BP5	
- Zdrsňujúci posyp predobalovou drťou	4/8 2-4 kg/m ²	
- Liaty asfalt pre ochranné vrstvy	MA 11 IV PMB 25/55-60	30 mm
- Izolácia z NAIP pečiatocou vrstvou		10 mm
- Celkom		130 mm

4.7 ZÁCHYTNÝ SYSTÉM

Na oboch rímsach sa nachádzajú zábradlové zvodidlá MS4/H2. Rímša s chodníkom je ešte opatrená oceľovým zábradlím výšky 1,10 m so zvislou výplňou 115 mm. Stĺpiky zábradlia sú vo vzdialenostiach 2,0 m a sú kotvené do rímsy pomocou štyroch šróbov cez pätné dosky.

4.8 ODVODNENIE

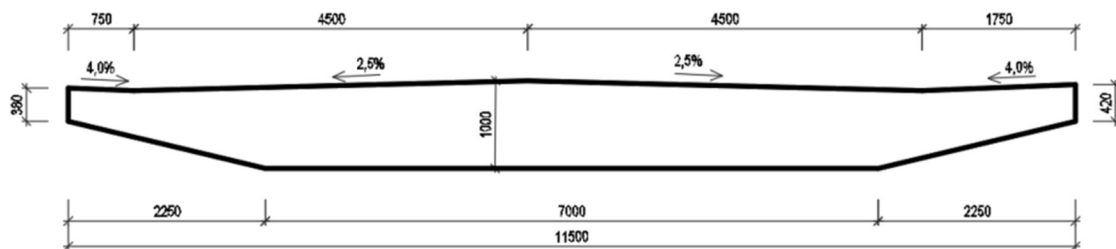
Odvodnenie je zabezpečené pomocou strechovitého sklonu 2,5 % do odvodňovacích prúžkov a odtiaľ do štyroch odvodňovačov.

4.9 REVÍZNE CHODISKO

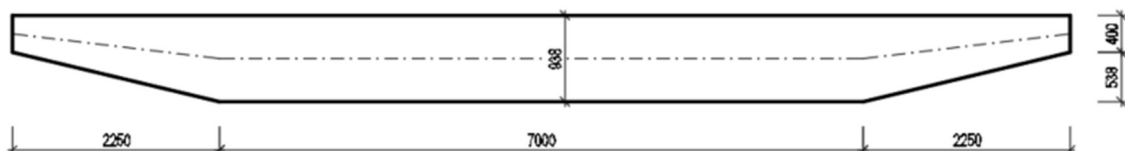
Na oboch koncoch mostu sa na strane, kde je chodník nachádza revízne schodisko, 17x185/230, respektíve 15x185/230. Spodné ramená sú totožné a to 8x185/230. Šírka ramien je 750 mm.

5 STATICKÝ VÝPOČET

Podrobný statický výpočet je riešený v prílohe P.3 Statický výpočet. Výpočet vnútorných síl bol realizovaný pomocou programu SCIA Engineer a tiež ručným výpočtom metódou spolupôsobiacej šírky. Výpočtový model pre výpočet v programe bol idealizovaný. Horná hrana dosky je vodorovná, pričom plocha pričného rezu zostala rovnaká ako to je pri skutočnom pričnom reze. Vplyvom tohto zjednodušenia bol model vymodelovaný s priemernou hrúbkou dosky ktorá má hodnotu 0,938 m. Plocha pričného rezu je 9,576 m².



Obr. 8: Statický model pre ručný výpočet.



Obr. 9: Idealizovaný statický model pre výpočet v programe.

5.1 VLASTNÁ TIAŽ

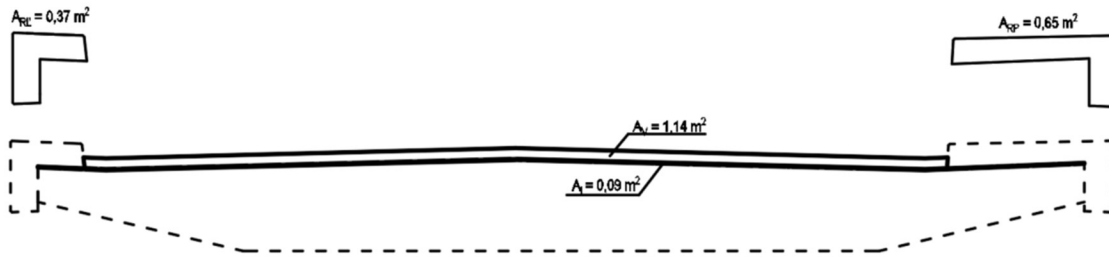
Pre ručný výpočet bola hodnota spočítaná z objemu nosnej konštrukcie, kedy objemová tiaž bola uvažovaná 25 kN/m³. Pri výpočte pomocou programu bola vlastná tiaž generovaná samotným programom.

5.2 OSTATNÉ STÁLE ZAŤAŽENIE

Ostatné stále zaťaženie pozostáva zo zaťaženia od vozovky, záchytného systému, izolácie a ríms. Pre zaťaženie od ríms je uvažovaná objemová tiaž 25 kN/m³, zaťaženie od zábradlia je uvažované ako 0,50 kN/m, zaťaženie od zábradelných zvodidiel 1,00 kN/m, pre zaťaženie od vrstiev vozovky je uvažovaná objemová tiaž 24 kN/m³ a pre zaťaženie izoláciou objemová tiaž

12 kN/m³. Hodnoty zaťaženia od vozovky a izolácie boli uvažované v hodnotách supremum (navýšené o 40 %) a infimum (znížené o 20 %). Ďalej bolo počítané s vyššími hodnotami.

pr



Obr. 10: Ostatné stále zaťaženie.

5.3 PREMENNÉ ZAŤAŽENIE

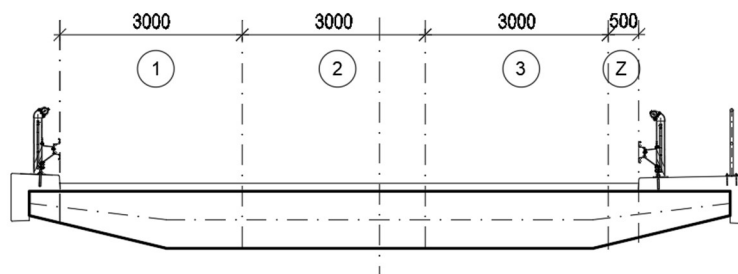
Nosná konštrukcia bola po svojej šírke rozdelená do troch zaťažovacích pruhov a jedného zvyškového pruhu. Šírka každého zo zaťažovacích pruhov je 3,0 m a šírka zvyškového pruhu je 0,5 m. Premenné zaťaženie pozostáva zo zaťažovacích modelov:

LM1 – uvažujeme zaťaženie TS a zaťaženie UDL

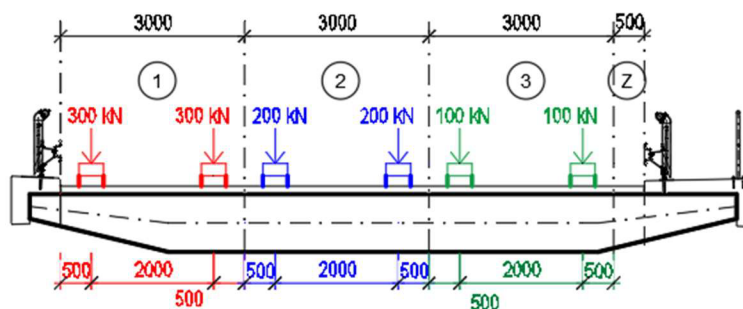
LM3 – uvažujeme deväťnápravové vozidlo, ktorého celková tiaž predstavuje 1800 kN

Súčasťou premenného zaťaženia je aj zaťaženie chodcami na chodníku o intenzite 3,00 kN/m².

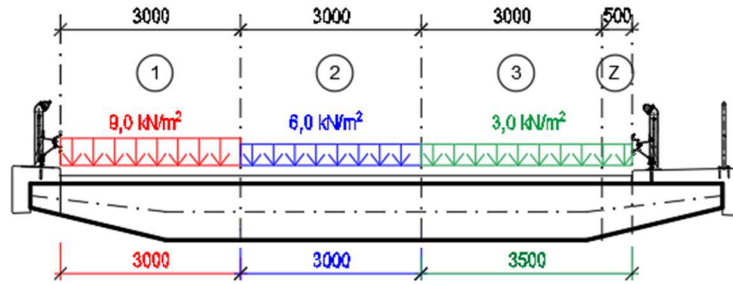
Pre oba výpočty bol roznos zaťaženia pod uhlom 45°. Pri ručnom výpočte bol roznos spravený až k dolnej hrane dosky, pri výpočte v programe bol roznos do strednice dosky.



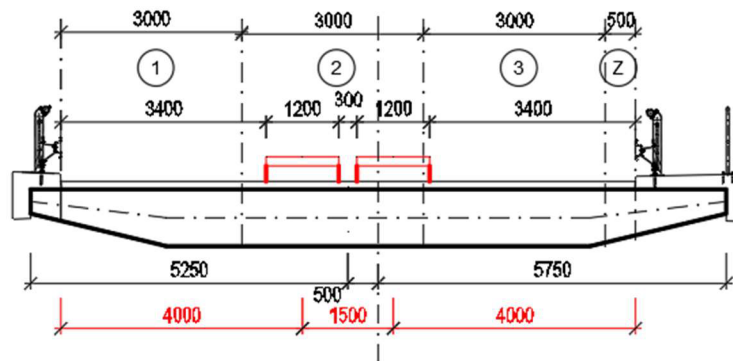
Obr. 11: Rozdelenie do zaťažovacích pruhov.



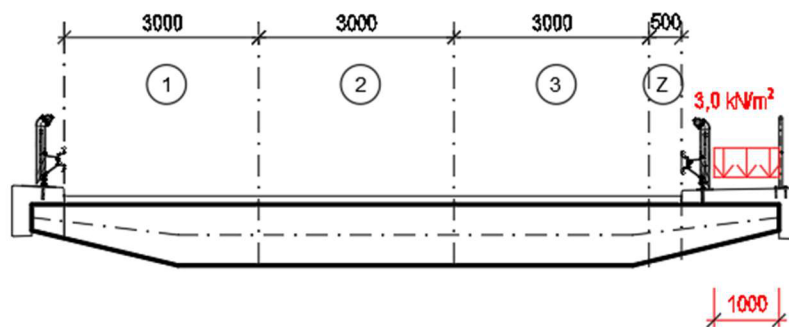
Obr. 12: Umiestnenie TS do zaťažovacích pruhov.



Obr. 13: Umiestnenie UDL do zatažovacích pruhov.



Obr. 14: Umiestnenie LM3 do zatažovacích pruhov.



Obr. 15: Umiestnenie zataženia chodcami.

5.4 KOMBINÁCIE

Pre posudok boli použité kombinácie podľa ČSN EN 1990. Sú uvažované zostavy gr1 a gr5. Pre posúdenie podľa medzného stavu použiteľnosti boli použité kombinácie: pre zostavu gr1 to boli charakteristická, častá a kvazistála a pre zostavu gr5 charakteristická a kvazistála. Pre posúdenie podľa medzného stavu únosnosti to boli pre obe zostavy kombinácie 6.10a a 6.10b.

6 PREDPÄTIE

6.1 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

6.1.1 BETÓN C 35/45

Charakteristická pevnosť betónu v tlaku:	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
Návrhová pevnosť betónu v tlaku:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,9 \cdot \frac{35}{1,5} = 21 \text{ MPa}$
Súčiniteľ spoľahlivosti betónu:	$\gamma_c = 1,5$
Stupeň vplyvu prostredia:	XD1
Súčiniteľ dlhodobých účinkov pre tlak:	$\alpha_{cc} = 0,9$
Stredná hodnota pevnosti betónu v ťahu:	$f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$
5% kvantil pevnosti betónu v ťahu:	$f_{ctk;0,05} = 2,5 \text{ MPa}$
Súčiniteľ dlhodobých účinkov pre ťah:	$\alpha_{ct} = 1,0$
Návrhová pevnosť betónu v ťahu:	$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ MPa}$
Modul pružnosti betónu:	$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$
Medzné pretvorenie betónu:	$\varepsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{cu} = 3,50 \text{ ‰}$

6.1.2 PREDPÍNACIA VÝSTUŽ Y1860 S7-15,7-A

Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
Charakteristická zmluvná medza klzu:	$f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$
Súčiniteľ spoľahlivosti ocele:	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1640}{1,15} = 1426,09 \text{ MPa}$
Menovitý priemer lana:	$\phi_p = 15,7 \text{ mm}$
Menovitá prierezová plocha lana:	$A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$
Vonkajší priemer predpínacieho kanáliku:	$\phi_{duct} = 62 \text{ mm}$
Modul pružnosti:	$E_s = 195 \text{ GPa}$

6.1.3 BETONÁRSKA VÝSTUŽ B550B

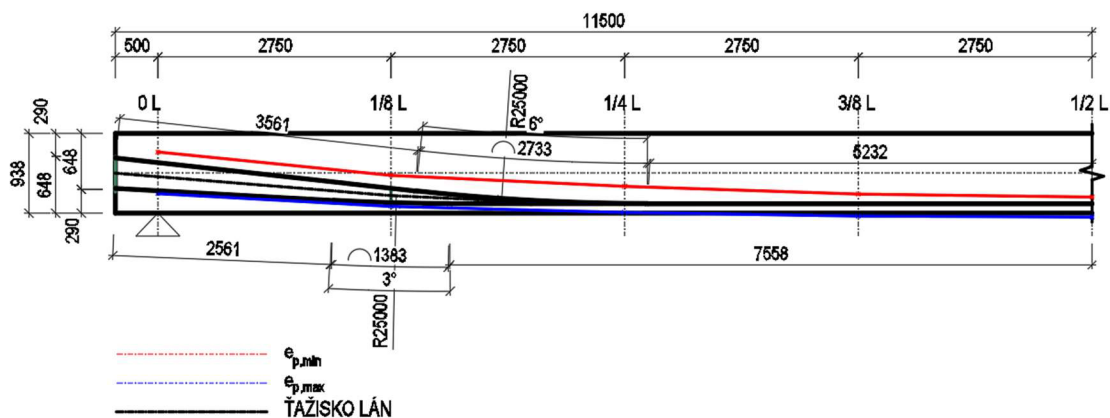
Charakteristická pevnosť v ťahu:	$f_{yk} = 550 \text{ MPa}$
Súčiniteľ spoľahlivosti ocele:	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnosť v ťahu:	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{550}{1,15} = 478,26 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_s = 200 \text{ GPa}$

6.2 NÁVRH PREDPÄTIA

Návrh predpätia bol stanovený pomocou metódy obmedzenia napätí pre jednotlivé kombinácie medzného stavu použiteľnosti a to ako pre spodné tak aj pre horné vlákna v čase t_0 a t_∞ . Aby sme mohli stanoviť predpínaciu silu, bolo potrebné odhadnúť excentricitu predpínacích káblov. Tiež bolo nutné odhadnúť veľkosť krátkodobých a dlhodobých strát. Tie sme odhadli ako 10 % pre obe.

Boli navrhnuté 4 káble po 7 lán do metra ($A_{p,prov} = 4,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{m}$). V celej doske je navrhnutých 27 káblov so 189 lanami. Predpínacia výstuž je navrhnutá ako Y1860 S7-15,7-A a maximálne kotevné napätie je $\sigma_{p,max} = 1476 \text{ MPa}$.

Osová vzdialenosť káblov je 0,25 m a každý druhý kábel je dvíhaný z dôvodu rozloženia štepných síl v kotevných oblastiach.



Obr. 16: Pribeh predpínacích káblov.

6.3 ČASOVÁ OS

$t_s = 5$ dní	doba ošetrovania betónu
$t_0 = 28$ dní	doba vnesenia predpätia
$t_g = 150$ dní	pôsobenie ostatného stáleho zaťaženia
$t_q = 240$ dní	uviedenie do prevádzky
$t_\infty = 100$ rokov = 36 500 dní	návrhová životnosť

6.4 STRATY PREDPÄTIA

6.4.1 KRÁTKODOBÉ STRATY

Boli ručne počítané straty poklzmom, trením, krátkodobou relaxáciou a postupným napínaním. Hodnoty strát poklzmom a trením boli porovnané aj s hodnotami, ktoré spočítal program a boli veľmi podobné. Ďalej bolo počítané s hodnotami z programu. Vyčíslená hodnota krátkodobých strát činí 8,9 %, čo je veľmi blízko odhadovanej hodnote krátkodobých strát, ktorá bola 10 %.

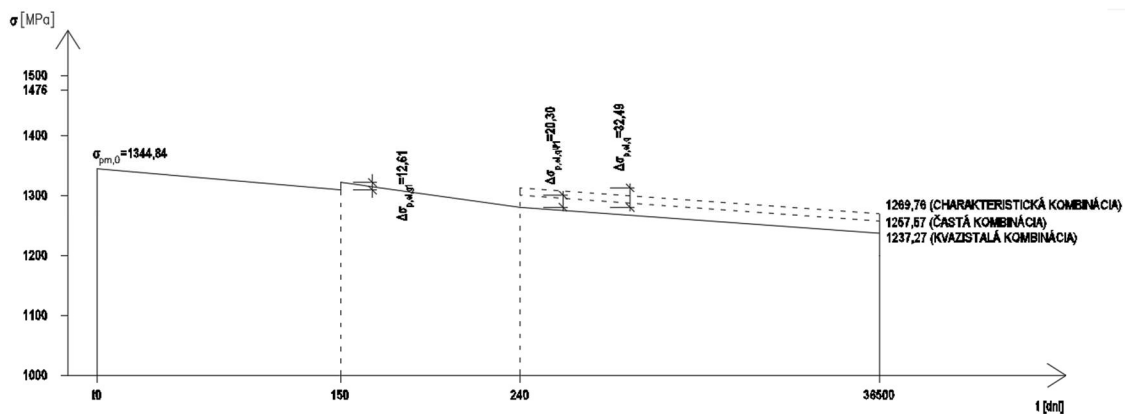
6.4.2 DLHODOBÉ STRATY

Hodnoty dlhodobých strát boli počítané ručne a to postupne: strata zmrašťovaním, strata dotvarovaním, strata pružným pretvorením a strata relaxáciou. Hodnoty strát sú uvedené v tabuľke:

Zmrašťovanie	$\Delta\sigma_{c,s(t_{\infty},t_0)}$	-35,99	MPa
Dotvarovanie (t_{∞}, t_0)	$\Delta\sigma_{c,p(t_{\infty},t_0)}$	-76,26	MPa
Dotvarovanie (t_{∞}, t_g)	$\Delta\sigma_{c,p(t_{\infty},t_g)}$	18,09	MPa
Relaxácia	$\Delta\sigma_{pr(t_{\infty})}$	-56,75	MPa
Pružné pretvorenie t_g	$\Delta\sigma_{p,el,g1}$	12,61	MPa
Pružné pretvorenie t_q char.komb.	$\Delta\sigma_{p,el,q}$	32,49	MPa
Pružné pretvorenie t_q častá komb.	$\Delta\sigma_{p,el,q\psi 1}$	20,30	MPa

Tab. 1: Prehľad dlhodobých strát.

Hodnota dlhodobých strát je 8,0 %, čo je opäť podobná hodnota tej predpokladanej, ktorá bola 10 %.



Obr. 17: Priebeh strát predpätia v čase.

7 MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI

Z hľadiska medzného stavu použiteľnosti bolo posudzované obmedzenie napätí v betóne aj predpínacej výstuži pre jednotlivé kombinácie na dolných aj horných vláknoch v časoch t_0 a t_{∞} . Ani v jednej kombinácii nebolo medzné napätie prekročené, a teda všetky kombinácie vyhoveli:

ČAS t_0 :

$$\sigma_{pm,0} = 1344,84 \text{ MPa} \leq 1395 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

ČAS t_{∞} :

$$\sigma_{pm,\infty} = 1237,27 \text{ MPa} \leq 1395 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

ČAS t_0 :

$$|\sigma_{c1}| = 9,75 \text{ MPa} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 15,75 \text{ MPa (kvazistalá komb.)}$$

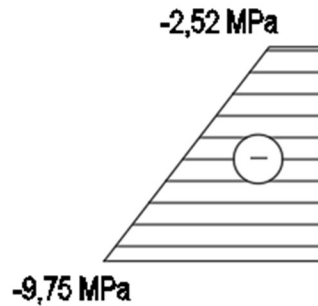
VYHOVUJE

$$\leq 0,6 \cdot f_{ck} = 21,00 \text{ MPa (charakt. komb.)}$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{c2} = -2,52 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,20 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 18: Priebeh napätí v čase t_0 .

ČAS t_∞ :

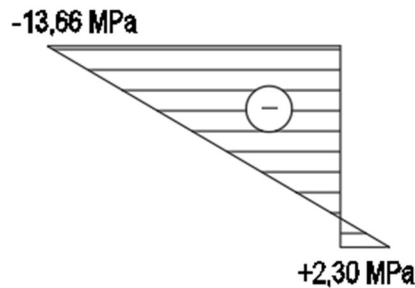
CHARAKTERISTICKÁ KOMBINÁCIA:

$$\sigma_{c1} = 2,30 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,20 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$|\sigma_{c2}| = 13,66 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 21,00 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 19: Priebeh napätí v čase t_∞ od charakteristickej kombinácie.

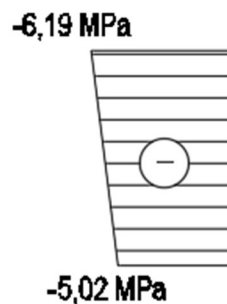
KVAZISTALÁ KOMBINÁCIA:

$$|\sigma_{c1}| = 5,02 \text{ MPa} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$|\sigma_{c2}| = 6,19 \text{ MPa} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 20: Priebeh napätí v čase t_∞ od kvazistálej kombinácie.

Ďalej bolo posúdené obmedzenie trhlín. Rozhodujúca je častá kombinácia, kde nedošlo k prekročeniu f_{ctm} , a preto nie je nutné posudzovať šírku trhlín:

ČAS t_{∞} :

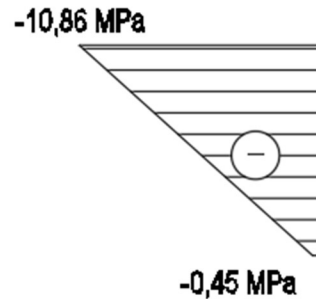
ČASTÁ KOMBINÁCIA:

$$\sigma_{c1} = -0,45 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,20 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$|\sigma_{c2}| = 10,86 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 21,00 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 21: Priebeh napätí v čase t_{∞} od častej kombinácie.

Ako posledné bolo posudzované obmedzenie pretvorení. Je navrhnuté konštrukčné nadvýšenie 15 mm, pretože pri sčítaní priehybov od stálych zložiek zaťaženia a polovičnej častej hodnoty priehybu od premenného zaťaženia bolo hodnotou 13,4 mm prekročených normových 10 mm. Posudok pre častú hodnotu priehybu od premenného zaťaženia však vyhovel, kedy táto hodnota je 14,6 mm a limitná hodnota priehybu je 36,7 mm.

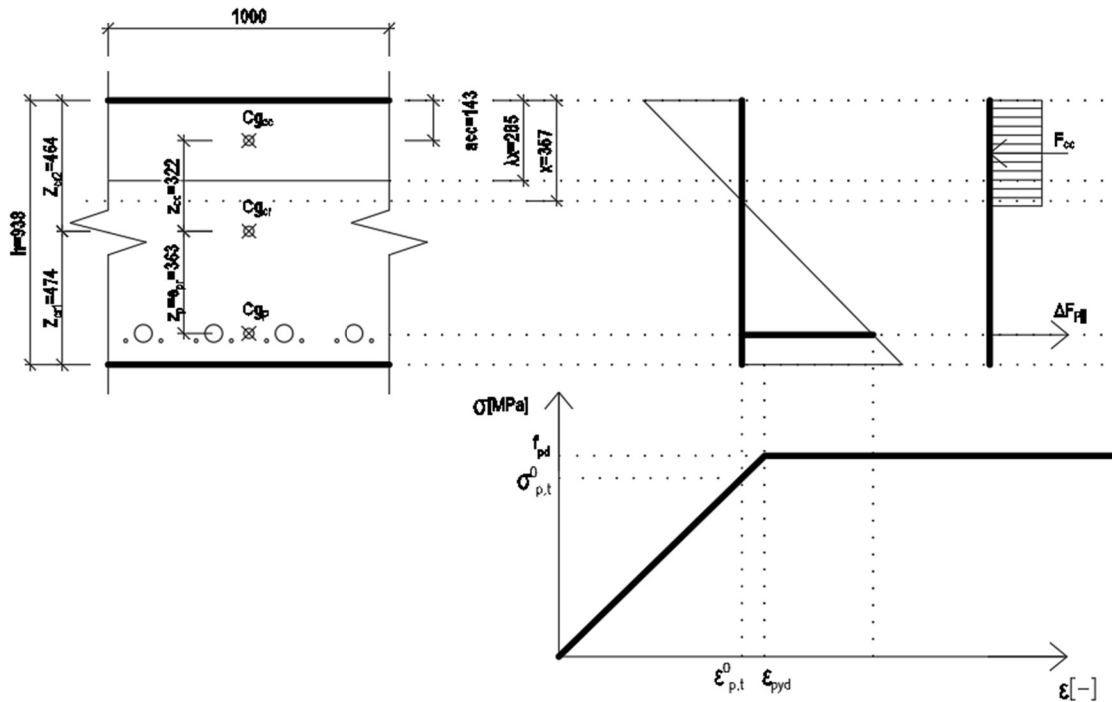
8 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

8.1 OHYB

8.1.1 POZDĹŽNY SMER

V pozdĺžnom smere postačil konštrukčný návrh hlavnej betonárskej výstuže. Tá bola navrhnutá ako $\emptyset 12/125$ mm.

Pri hornom povrchu bola výstuž navrhnutá opäť konštrukčne ako 13 % hlavnej pozdĺžnej výstuže. Navrhnutá výstuž bola $\emptyset 12/125$ mm.



Obr. 22: Pracovní diagram předpínací výstuže.

8.1.2 PRIEČNY SMER

V priečnom smere bola výstuž navrhnutá osobitne v poli a nad podporou. Umiestnenie premenného zaťaženia bolo také, aby podľa príčinkových čiar bol vyvodený maximálny nepriaznivý účinok.

Výstuž v poli pri spodnom povrchu bola navrhnutá ako $\emptyset 16/125$ mm.

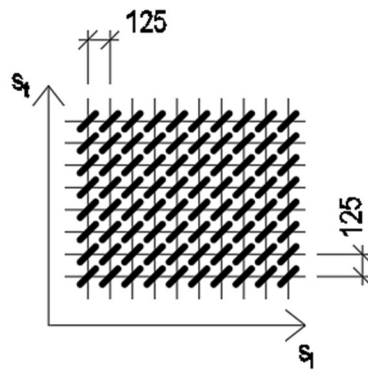
Výstuž nad podporou bola navrhnutá ako $\emptyset 20/125$ mm.

Výstuž v priečnom smere pri hornom povrchu bola opäť navrhnutá konštrukčne ako 13 % hlavnej pozdĺžnej výstuže a bola navrhnutá $\emptyset 12/125$ mm.

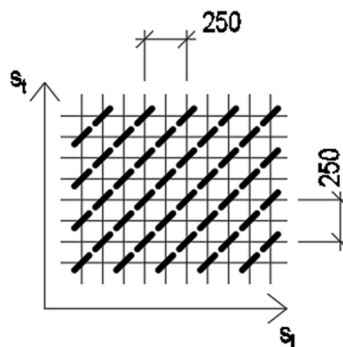
8.2 ŠMYK

Pre posúdenie šmyku bola konštrukcia rozdelená na osminy rozpätia. V týchto osminách boli odčítané maximálne hodnoty posúvajúcich síl a im odpovedajúce ohybové momenty. Boli spočítané hodnoty napätí na ťahaných vláknach a vo vzdialenosti 7,275 m od podpory bola prekročená hodnota f_{ctd} . Od podpory do tohto miesta bol realizovaný posudok pre oblasť bez trhlin a od tohto rezu ďalej posudok pre oblasť s trhlinami.

V oblasti podpor bola posúvajúca sila značne vyššia než v ostatných častiach a práve tu v úseku od podpory až do vzdialenosti 1,25 m od nej bola posúvajúca sila vyššia než pevnosť betónu v ťahu. Bol nutný statický návrh šmykovej výstuže v podobe spon. Boli navrhnuté spony $\emptyset 10/125 \times 125$ mm. Vo všetkých ostatných častiach postačil konštrukčný návrh šmykovej výstuže v podobe $\emptyset 10/250 \times 250$ mm.



Obr. 23: Rozloženie spon pri statickom návrhu šmykovej výstuže.



Obr. 24: Rozloženie spon pri konštrukčnom návrhu šmykovej výstuže.

9 PREPICHNUTIE

V oblasti ložísk bol spravený posudok pre prepichnutie dosky. Bol spočítaný základný a redukovaný obvod. Pre oba obvody posudok vyhovel bez statického návrhu výstuže proti pretlačeniu. Výstuž v tejto oblasti je navrhnutá rovnaká ako pre posúdenie šmyku a teda $\varnothing 10/125 \times 125$ mm.

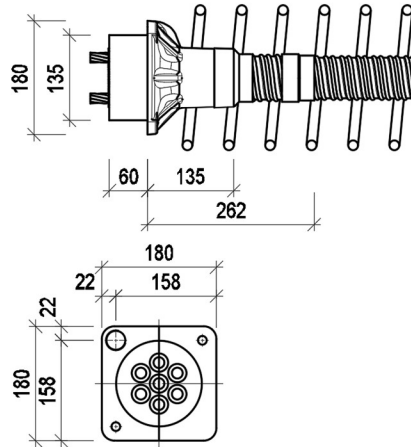
10 KOTEVNÁ OBLASŤ

Pre zakotvenie boli použité kotvy VSL GC 6-7. Bola posúdená únosnosť v sústredenom tlaku betónu, ktorú garantuje výrobca. Únosnosť vyhovela aj v našom výpočte.

Ďalej bol spravený posudok pre oblasť pod kotvou, kde bola navrhnutá výstuž v podobe šrobovice, ktorú dodáva výrobca kotiev priamo s kotvami. Jedná sa o výstuž $\varnothing 12/7$ závitov.

Pre oblasť pri povrchu čela bola navrhnutá výstuž $\varnothing 12/2$ ks.

Ako posledná bola posúdená celková kotevná oblasť, kde bola navrhnutá výstuž $4 \times \varnothing 16$ mm. Táto výstuž bola navrhnutá ako vodorovná aj zvislá. Počet takto vystužených mriežok je 6 a budú rozmiestnené v oblasti 900 mm vo vzájomných vzdialenostiach 180 mm.



Obr. 25: Pohľad a rez kotvou VSL GC 6-7.

11 POSTUP VÝSTAVBY

1. Terénne úpravy
2. Výkopové práce, úprava základovej škáry
3. Vrtanie pilót a ich betonáž
4. Debnenie a betonáž základových pásov
5. Debnenie a betonáž oper
6. Montáž skruže nosnej koštruktie
7. Vystuženie a betonáž nosnej koštruktie
8. Predopnutie nosnej koštruktie
9. Debnenie osadenie armatúry a betonáž úložného prahu, záverovej steny a krídel
10. Osadenie nosnej koštruktie na ložiská a odstránenie skruže
11. Zásyp a zhutnenie zásypu
12. Osadenie mostových záverov, polozenie izolácie
13. Betonáž ríms, pokládka vozovkových vrstiev
14. Osadenie mostového príslušenstva
15. Dokončovacie práce
16. Predanie stavby a uvedenie do prevádzky

12 ZÁVER

Predmetom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť dva možné varianty premostenia prekážky, ktorou v tomto prípade bol miestny potok. Oba varianty boli navrhnuté ako doskové predpäté mostné koštruktie o jednom poli. Líšili sa hlavne v tvare a rozmerom v priečnom reze. Pre podrobné spracovanie a posúdenie bol vybraný variant lichobežníkového prierezu.

Výpočet vnitřních sil bol realizovaný pomocou programu SCIA Engineer. Výsledky boli kontrolované ručným výpočtom metódou spolupôsobiacej šírky. Modely boli zaťažené zaťažením stálým, ostatným stálým a premenným od dopravy podľa ČSN EN 1991-2 [4].

Po navrhnutí predpätia boli spočítané krátkodobé aj dlhodobé straty. Následne boli prevedené posudky na medzný stav použiteľnosti aj medzný stav únosnosti. Tiež bolo posúdené prepichnutie dosky v oblasti ložísk a aj posúdenie kotevnej obalsti.

Po vypracovaní statického výpočtu bola spracovaná výkresová dokumentácia a vizualizácia mostu.



Obr. 26: Vizualizácia mostu.

13 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
- [2] ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí
- [4] ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1992-2: Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady.
- [7] KOLÁČEK, Jan, NEČAS, Radim, PANÁČEK, Josef. 2014. BL12 Betonové mosty I: zásady navrhování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014.
- [8] LANÍKOVÁ, Ivana, PANÁČEK, Josef, ŠIMŮNEK, Petr, ŠTĚPÁNEK, Petr, TERZIJSKI, Ivailo. 2017. BL01 Prvky betonových konstrukcí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2017, 145 s.
- [9] VZOROVÉ LISTY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: VL 4 – MOSTY. Praha: Ministerstvo dopravy, 2015.
- [10] FREYSSINET CS, a.s.. Elastomerová ložiska [online]. Dostupné na internete: http://www.freyssinet.cz/gallery/loziska_elastomerova.pdf
- [11] VSL, s.r.o.. Dodatočné předpínání [online]. Dostupné na internete: <http://www.vsl.cz/download/42>
- [12] VSL, s.r.o.. Dodatočné předpínání [online]. Dostupné na internete: <http://www.vsl.cz/download/203>
- [13] FREYSSINET CS, a.s.. Mostní závěry [online]. Dostupné na internete: http://www.freyssinet.cz/256-zaver_cipec_jep

14 ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK A VELIČÍN

$f_{ck}/f_{ck,cube}$	označenie triedy betónu
XFn, XDn	označenie stupňa agresivity prostredia
$A_{p,prov}$	navrhnutá plocha predpínacej výstuže na meter
$A_{p,1}$	menovitá prierezová plocha lana
LM1, LM3	označenie zaťažovacieho modelu premenného zaťaženia
TS	zaťaženie dvojnápravou
UDL	zaťaženie rovnomerným plošným zaťažením
gr1, gr5	označenie zaťažovacej zostavy
$\sigma_{p,max}$	maximálne napätie
σ_{pm0}	napätie po krátkodobých stratách
$\sigma_{pm\infty}$	napätie po dlhodobých stratách
$\Delta\sigma$	strata predpätia
σ_{c1}	napätie na dolných vláknach
σ_{c2}	napätie na horných vláknach
t_s	doba ošetrovania betónu
t_0	doba vnesenia predpätia
t_g	pôsobenie ostatného stáleho zaťaženia
t_q	čas uvedenia do prevádzky
t_∞	návrhová životnosť
\emptyset	priemer betonárskej výstuže
\emptyset_{duct}	vonkajší priemer predpínacieho kanáliku
\emptyset_p	menovitý priemer lana
f_{ck}	charakteristická pevnosť betónu v tlaku
f_{cd}	návrhová pevnosť betónu v tlaku
f_{ctm}	stredná hodnota pevnosti betónu v ťahu
f_{ctd}	návrhová pevnosť betónu v ťahu
$f_{ctk0,05}$	5 % kvantil pevnosti betónu v ťahu
f_{pk}	charakteristická pevnosť v ťahu predpínacej výstuže
f_{pd}	návrhová pevnosť v ťahu predpínacej výstuže
$f_{p0,1k}$	charakteristická hodnota zmluvnej medze klzu
f_{yk}	charakteristická pevnosť v ťahu ocele
f_{yd}	návrhová pevnosť v ťahu ocele
α_{cc}	súčiniteľ dlhodobých účinkov pre tlak
α_{ct}	súčiniteľ dlhodobých účinkov pre ťah

γ_c	súčiniteľ spoľahlivosti betónu
γ_s	súčiniteľ spoľahlivosti ocele
E_{cm}	modul pružnosti betónu
E_s	modul pružnosti ocele
$\epsilon_{c2}, \epsilon_{cu3}$	medzné pretvorenie betónu

15 ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obr. 1: Umístění mostu.....	10
Obr. 2: Priečny rez variantu A hlavnou nosnou konštrukciou.....	11
Obr. 3: Priečny rez variantu B hlavnou nosnou konštrukciou.....	12
Obr. 4: Pôdorys.....	13
Obr. 5: Pozdĺžny rez.....	14
Obr. 6: Priečny rez.....	14
Obr. 7: Schéma umožnených pohybov ložísk.....	15
Obr. 8: Statický model pre ručný výpočet.....	16
Obr. 9: Idealizovaný statický model pre výpočet v programe.....	16
Obr. 10: Ostatné stále zaťaženie.....	17
Obr. 11: Rozdelenie do zaťažovacích pruhov.....	17
Obr. 12: Umístění TS do zaťažovacích pruhov.....	17
Obr. 13: Umístění UDL do zaťažovacích pruhov.....	18
Obr. 14: Umístění LM3 do zaťažovacích pruhov.....	18
Obr. 15: Umístění zaťaženia chodcami.....	18
Obr. 16: Priebeh predpínacích káblov.....	20
Obr. 17: Priebeh strát predpätia v čase.....	21
Obr. 18: Priebeh napätí v čase t_0	22
Obr. 19: Priebeh napätí v čase t_∞ od charakteristickej kombinácie.....	22
Obr. 20: Priebeh napätí v čase t_∞ od kvazistálej kombinácie.....	22
Obr. 21: Priebeh napätí v čase t_∞ od častej kombinácie.....	23
Obr. 22: Pracovný diagram predpínacej výstuže.....	24
Obr. 23: Rozloženie spon pri statickom návrhu šmykovej výstuže.....	25
Obr. 24: Rozloženie spon pri konštrukčnom návrhu šmykovej výstuže.....	25
Obr. 25: Pohľad a rez kotvou VSL GC 6-7.....	26
Obr. 26: Vizualizácia mostu.....	27
Tab. 1: Prehľad dlhodobých strát.....	21

16 ZOZNAM PRÍLOH

P1 Podklady, studie a vizualizace

P1.01 Geometria terénu	1:100
P1.02 Variant A	1:50, 1:100, 1:200
P1.03 Variant B	1:50, 1:100, 1:200
P1.04 Vizualizácia	

P2 Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P2.01 Pôdorys	1:100
P2.02 Pozdĺžny rez	1:50
P2.03 Priečny rez B-B	1:50
P2.04 Priečny rez C-C	1:50
P2.05 Výkres betonárskej výstuže	1:25
P2.06 Výkres prepínacej výstuže	1:10, 1:25, 1:50

P3 Statický výpočet